



⑳ Aktenzeichen: P 43 05 107.3
 ㉑ Anmeldetag: 19. 2. 93
 ㉒ Offenlegungstag: 25. 8. 94

⑤① Int. Cl.⁵:
 B 23 K 26/00
 G 02 B 27/00
 // B 23 K 26/06, 26/08,
 C 03 B 33/06



DE 43 05 107 A 1

⑦① Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

⑦② Erfinder:

Bollmann, Dieter, Dipl.-Phys., 8000 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung. Das Schneiden von spröden Körpern, insbesondere Hohlkörpern oder Platten, zum Beispiel aus Glas oder Keramik, findet in der Technik breite Anwendung. Beim Schneidevorgang mit Laserstrahlung ist es wünschenswert, eine möglichst große Heizleistung einzukoppeln, ohne dabei die maximal zulässige lokale Leistungsdichte an der Schnittlinie zu überschreiten.

Beim hier beschriebenen Verfahren wird der zu schneidende Körper an der Oberfläche entlang der Schnittlinie durch Einwirkung des Laserstrahls so erwärmt, daß sich eine thermomechanische Spannung aufbaut, die zum Bruch des Körpers entlang dieser Schnittlinie führt. Erfindungsgemäß ist der Laserstrahl so geformt, daß der auf die Oberfläche des zu schneidenden Körpers einwirkende Strahlquerschnitt eine längliche Form entlang der Schnittlinie aufweist, wobei das Verhältnis von Länge und Breite einstellbar ist. Das Verfahren und die Vorrichtung können zum Beispiel zum Abschneiden des Preßrandes von Trinkgläsern eingesetzt werden, wobei sich das Glas im ortsfesten Laserstrahl dreht.

DE 43 05 107 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung. Das Schneiden von spröden Körpern, insbesondere Hohlkörpern oder Platten, z. B. aus Glas oder Keramik, findet in der Technik breite Anwendung. So muß z. B. bei der Herstellung von Hohlgläsern nach dem Glasblasen der Preßbrand durch Absprengen entfernt werden. Dieser Arbeitsgang ist sowohl bei der Fertigung von Trinkgläsern und Kolben von Glühlampen als auch beim Ablängen von Glasrohren (z. B. Leuchtstoffröhren, Halogenlampen, Rohre für die chemische Industrie) notwendig. Es werden bisher unterschiedliche Verfahren angewendet.

Beim Kalt-Heiß-Verfahren erfolgt das Trennen mittels Anritzen mit einer scharfen Kante und Absprengen durch die Hitze einer Gasflamme. Durch den Temperaturunterschied entsteht ein Spannungszustand und das Glas bricht an der durch den Ritz verletzten Stelle (siehe z. B. DE 27 00 487).

Beim Heiß-Kalt-Verfahren wird ein erwärmtes Glas von einer wassergekühlten Rolle berührt oder mit kalter, feuchter Druckluft (Aerosol) angeblasen und damit abgeschreckt. In dem schnell gekühlten Bereich entsteht eine Zugspannung und das Glas springt ab.

Anschließend ist ein Abschleifen des Randes notwendig, um feine Risse und Ausbrüche zu entfernen. Das kann mit einer rotierenden Schleifscheibe (z. B. DE 27 24 331) oder mit einem Schleifband erfolgen. Danach wird der Rand mit einem Gasbrenner verschmolzen. Das Ergebnis soll ein glatter und gleichmäßig geformter Rand sein.

Zum Anritzen wird derzeit ein Rädchen aus Widia-Stahl oder eine Diamantspitze verwendet. Diese müssen mit einer mechanischen Kraft auf die Oberfläche gedrückt werden. Das kann zu Glasbruch führen. Andererseits kann bei einer kegelförmig geneigten Oberfläche (z. B. Sektkelch oder Cognac-Schwenker) der Ritzer seitlich ausweichen oder abrutschen. Dadurch wird die angerissene Linie wellenförmig oder spiralenförmig und die Linie ergibt keinen geschlossenen Kreis mehr. Diese Unebenheiten müssen durch Schleifen ausgeglichen werden. Beim Anritzen entstehen kleine Ausbrüche und feine Risse, die bei der anschließenden Wärmebehandlung in das zuvor ungestörte Material hineinwachsen können. Dieser Bereich muß danach durch Schleifen entfernt werden.

Der problematische Schritt dieser an sich einfachen und bewährten Verfahren ist das Schleifen, da ein erheblicher Verbrauch an Schleifband und als Abfall schwermetallhaltiger Schleifstaub anfällt. Dies belastet als Sondermüll die Umwelt und führt zu zunehmenden Kosten bei der Deponierung.

Das Trennverfahren läßt sich durch den Einsatz eines Lasers verbessern. Die besonderen Eigenschaften der Laserstrahlung, die sich von einer normalen Lichtquelle unterscheiden, sind die enge Bündelung, die hohe Intensität, die Kohärenz und die scharf definierte Wellenlänge.

Die enge Bündelung (parallele Strahlen) bedeutet, daß der Laserstrahl auf einen sehr kleinen Brennfleck fokussiert werden kann, der nur durch Beugung begrenzt ist. Dadurch läßt sich eine hohe Leistungsdichte erzeugen.

Kohärenz bedeutet, daß alle Wellenpakete im gleichen Takt schwingen. Da der Laserstrahl monochromatisch ist (definierte Wellenlänge), muß das Auftreten von

Interferenzeffekten beachtet werden. Diese Modulation der Intensität im Brennfleck kann in manchen Fällen hilfreich oder auch schädlich sein. Die Interferenz ist bei der üblichen Verwendung von CO₂-Lasern besonders deutlich, weil die Wellenlänge im Vergleich zum sichtbaren Licht um den Faktor 20 größer ist.

Der energiereiche CO₂-Laser wird seit Jahren erfolgreich in der Metallindustrie zum Schneiden, Schweißen und Abtragen von Metallen eingesetzt (vgl. DE 38 01 068). Die Metalle werden dabei üblicherweise geschmolzen und verdampft und aus der Schnittfuge ausgeblasen.

Auch in der Glas- und Kunststoffindustrie wird der CO₂-Laser verwendet, um Vertiefungen oder Markierungen an der Oberfläche anzubringen (siehe z. B. DE 32 30 578 oder DE 38 29 025). Dabei wird das Material umgeschmolzen oder entfernt.

In der DE 35 46 001 wird ein Verfahren zum Glas-schneiden mit Laserstrahlen beschrieben, bei dem das zu schneidende Glasteil auf einer hohen Temperatur unterhalb des Erweichungspunktes des Glases gehalten und dann wiederholt mit einem Laserstrahl längs der vorgesehenen Schnittlinie bestrahlt wird, während eine Zugkraft am abzuschneidenden Teil angreift. In diesem Fall läßt der Laserstrahl die Temperatur auf der Schnittlinie über die Verflüssigungstemperatur ansteigen, und die auf den Schnittbereich ausgeübte Zugkraft bewirkt das Abschneiden. Aufgrund der hohen, bei diesem Verfahren erzeugten, Temperaturen verdampft jedoch ein Teil des Glases und lagert sich als unerwünschter weißer Niederschlag auf der Glasoberfläche ab. Beim Einsatz eines zusätzlichen Gasstromes zur Verminderung dieses Problems ist nachteilig, daß dieser eine verformende Kraft auf die heiße Glasoberfläche ausübt, und außerdem die Umgebung der Bruchzone durch umgelente Abgase unkontrolliert geheizt wird.

In der EP 448 168 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Spalten einer spröden Platte, z. B. aus Glas, angegeben, bei dem ein Laserstrahl wiederholt über die Schnittlinie geführt wird, bis die Platte bricht. Bei diesem Verfahren wird im Gegensatz zu den weiter oben beschriebenen Methoden das Material nicht entfernt oder geschmolzen, sondern nur erwärmt, um einen Spannungszustand zu erzeugen. Durch den Temperaturschock bricht die Platte an der vorgegebenen Linie. Die Verwendung eines normalen runden Strahlquerschnitts ohne spezielle Formgebung zum Spalten der Platte führt allerdings zum Nachteil, daß damit eine Steuerung der Leistungsdichte des Laserstrahls an der Plattenoberfläche nur in geringem Maße möglich ist. Einerseits muß aber die Gesamtleistung einen Schwellwert überschreiten, damit die induzierte thermische Spannung die Bruchfestigkeit des Glases übersteigt und der Bruch erfolgt. Andererseits darf eine kritische lokale Leistungsdichte nicht überschritten werden, da dies zur Überhitzung der Glasoberfläche mit Verdampfung und weißem Niederschlag führen würde. Diese gegenläufigen Forderungen können mit einem runden Strahlquerschnitt nicht zufriedenstellend erfüllt werden. Eine Vergrößerung des Strahldurchmessers zur Reduzierung der Leistungsdichte würde die Genauigkeit der Schnittlinie nachteilig beeinflussen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung anzugeben, mit denen eine genaue Dosierung der Leistungsdichte der Laserstrahlung und damit der Temperaturverteilung an der Schnittlinie möglich ist, wobei gleichzeitig die Ge-

naugigkeit des Schnittes beibehalten oder sogar erhöht werden kann. Weiterhin soll die Erfindung die Einkoppelung der maximalen Heizleistung ohne Überschreitung der lokalen Leistungsdichte ermöglichen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das in Anspruch 1 angegebene Verfahren bzw. die in Anspruch 11 angegebene Vorrichtung gelöst. Dabei wird der zu schneidende Körper, vorzugsweise ein rotationssymmetrischer Hohlkörper oder Stab, oder eine Platte, an der Oberfläche entlang der gewünschten Schnittlinie durch Einwirkung eines Laserstrahls geeigneter Wellenlänge so erwärmt, daß sich eine thermomechanische Spannung aufbaut, die zum Bruch des Körpers entlang dieser Schnittlinie führt. Die Bestrahlung längs der Schnittlinie kann sowohl durch eine Bewegung des Laserstrahls als auch durch eine Bewegung des zu schneidenden Körpers relativ zum ortsfesten Laserstrahl erfolgen. Vorteilhaft für die Genauigkeit des Bruches ist die wiederholte Bestrahlung der Schnittlinie mit dem Laser, wobei der zeitliche Abstand der einzelnen Erwärmungsvorgänge so gewählt sein muß, daß daraus eine kumulative Spannungserhöhung im Material resultiert.

Erfindungsgemäß ist der Laserstrahl so geformt, daß der auf die Oberfläche des zu schneidenden Körpers einwirkende Strahlquerschnitt eine längliche Form entlang der Schnittlinie aufweist, wobei das Verhältnis von Länge und Breite einstellbar ist. Da die Breite des Strahlprofils die Genauigkeit des Schnittes beeinflusst, kann somit durch Verlängerung des Querschnitts sowohl die Energieeinkopplung bei gleicher Schnittgenauigkeit erhöht als auch die Schnittgenauigkeit durch eine kleinere Breite des Strahlprofils verbessert werden, ohne die lokale Leistungsdichte des Laserstrahls auf der Oberfläche des zu schneidenden Körpers zu verändern. Damit ist auch die optimale Anpassung der Leistungsdichte an unterschiedliche Materialien bei gleichbleibender Laserleistung möglich.

Die einzelnen physikalischen Zusammenhänge, die dem eben beschriebenen Verfahren zugrundeliegen, seien im folgenden anhand der in Anspruch 2 dargelegten besonderen Ausführungsform erläutert. Bei dieser Ausführungsform wird die Bewegung des Lasers entlang der Schnittlinie durch Drehen des in diesem Falle rotationssymmetrischen Hohlkörpers im ortsfesten Laserstrahl erreicht, wobei der Schnitt senkrecht zur Symmetrieachse des Hohlkörpers erfolgt. Hiermit kann z. B. der Preßrand eines Trinkglases abgeschnitten werden. Während der Laserstrahl die Glasoberfläche beleuchtet, steigt die Temperatur rasch an. Durch die Temperaturunterschiede wird eine Spannung im Glas erzeugt, die schließlich zum Absprung führt.

Die Heizrate ist hauptsächlich von der Leistungsdichte und den Materialkonstanten abhängig. Für Bleiglas ist die Wärmekapazität $c = 0,68 \text{ J/g} \times \text{K}$ und die Dichte $\rho = 2,9 \text{ g/cm}^3$. Aufgrund der hohen Absorptionskonstante ist die Schichtdicke der geheizten Zone etwa $d = 0,03 \text{ mm}$. Die Breite des Strahlquerschnitts ist b , seine Länge ist l . Bei einer Leistung P errechnet sich die Aufheizrate dT/dt zu

$$dT/dt = \frac{P}{c \times \rho \times d \times b \times l},$$

wobei b aufgrund der Genauigkeitsanforderungen beim Schnitt nur in kleinen Grenzen variiert werden kann. Vorzugsweise sollte b kleiner als die Wandstärke des

Körpers sein.

Die Verweildauer t des Laserstrahls auf einer Stelle des drehenden Glases ergibt sich aus der Länge l des Strahlquerschnitts, dem Durchmesser des Glaszylinders D und der Drehzahl f .

$$t = \frac{l}{D \times \pi \times f}$$

Damit ergibt sich eine Temperaturerhöhung dT von

$$dT = t \times dT/dt.$$

Dies soll zwischen der Transformations- und der Erweichungstemperatur für das jeweilige Glas liegen. Die Heizrate dT/dt sollte gewisse Grenzen nicht über- oder unterschreiten, da es sonst einerseits zur Abdampfung einer dünnen oberflächenschicht, andererseits zur gleichmäßigen Erwärmung des gesamten Körpers kommen kann.

Es handelt sich bei den oben angegebenen Gleichungen um eine grobe Abschätzung, die durch eine saubere Berechnung nach der finite Elemente Methode verfeinert werden kann, um die realen Vorgänge beim Heizen besser zu verstehen.

Die berechnete Temperatur stimmt mit der Beobachtung überein, daß bei gutem Absprung kein Glühlicht an der bestrahlten Stelle sichtbar sein darf. Dann ist die Bruchkante glatt und rißfrei. Bei einigen Versuchen mit höherer Leistung war dagegen gelbes bis weißes Glühen zu sehen, was auf Temperaturen weit über 700°C hinweist. In diesen Fällen war die Bruchkante mit vielen Rissen gestört.

Nachdem der heizende Laserstrahl durch die Drehung weitergewandert ist, kühlt die Stelle im Glas wieder ab. Dabei ist die Wärmeleitung in das umgebende Glas, etwas Wärmestrahlung und die Kühlung durch bewegte kalte Umgebungsluft bestimmend.

Die Drehzahl des Glases bestimmt die Zeit zwischen wiederholten Erwärmungen und damit auch die minimale Abkühltemperatur. Die Drehzahl darf nicht zu langsam sein, weil sonst das Glas unkontrolliert springt. Der Wechsel zwischen Erwärmung und Abkühlung scheint für ein sauberes Absprengen wichtig zu sein. Eine reine, zeitlich konstante Erwärmung führt nur zum Aufschmelzen ohne Absprung. Der Absprung kann nach Abschalten des Lasers durch Anblasen mit kalter Druckluft, die auch feucht sein kann, gefördert werden, weil damit der Temperaturgradient verstärkt wird.

Gemäß Anspruch 3 wird das längliche Strahlprofil mit einer oder mehreren im Strahlengang des Lasers befindlichen Zylinderlinsen oder asphärischen Spiegeln erzeugt. Durch geeignete Wahl dieser optischen Elemente ist es möglich, eine beliebige längliche Form des Strahlquerschnitts auf der Oberfläche des zu schneidenden Körpers zu erzeugen. Zur Erzielung einer möglichst kleinen Breite b des Strahlquerschnitts auf der Schnittlinie wird vorzugsweise der Laserstrahl z. B. mit einer Zylinderlinse nur in der senkrecht zur Schnittlinie liegenden Ebene fokussiert. Die maximale Länge des Fokus bei einer gegebenen Anordnung ergibt sich aus dem Durchmesser und der Divergenz des Strahles vor der Linse. So kann z. B. durch eine Aufweitungsoptik vor der Zylinderlinse die Länge des Fokusquerschnitts vergrößert werden. Auch eine Kombination einer fokussierenden mit einer in der dazu senkrechten Ebene zer-

streuenden Zylinderlinse ist denkbar, um die maximale Länge des Strahlprofils an der Schnittlinie zu erhöhen. Statt Zylinderlinsen können natürlich auch asphärische Spiegel oder eine Kombination von beiden eingesetzt werden.

Die Veränderung der Länge des Strahlprofils an der Schnittlinie erfolgt gemäß Anspruch 4 vorzugsweise durch eine Schlitzblende mit einstellbarer Blendenöffnung im Strahlengang des Lasers. Die maximale Länge des Strahlprofils ist durch die Anordnung der optischen Komponenten (vgl. Anspruch 3) gegeben. Durch Änderung der Spaltbreite der Blende läßt sich das Strahlprofil stufenlos mit geringem Aufwand verkürzen. Die Blende kann z. B. aus zwei diffus reflektierenden Edelstahlplatten bestehen, die einzeln verschiebbar sind. Sie sind als senkrechte Schlitzblende so angeordnet, daß sie die Länge des Strahlprofils begrenzen.

Die Breite des Strahlprofils läßt sich in der Ausgestaltung nach Anspruch 5 durch Veränderung des Abstands zwischen dem Körper und einem Fokussierelement, z. B. einer Zylinderlinse, die in einer senkrecht zur Schnittlinie liegenden Ebene fokussiert, einstellen. Durch Verändern des Abstandes wandert die Schnittlinie entweder in oder weiter aus dem Fokus dieser Linse.

Eine bevorzugte Ausführungsform besteht nach Anspruch 6 in der Verwendung eines CO₂-Lasers zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dieser emittiert Licht im fernen infraroten Bereich bei einer Wellenlänge von 10,6 µm. Diese Wärmestrahlung zeigt erhebliche Besonderheiten bei der Wirkung auf Materie. So wird sie von den meisten, im sichtbaren Licht transparenten Materialien stark absorbiert. Deshalb müssen Linsen, die den Strahlengang verändern sollen, aus Zinkselenid (ZnSe) hergestellt werden. Die intensive Laserstrahlung verlangt eine Antireflexionsbeschichtung der Linsen, um unkontrollierte Reflexe zu verhindern.

Der Umstand der starken Absorption in Glas wird hier verwendet, um das Glas zu erhitzen. Bei einem Absorptionskoeffizienten von 10³ cm⁻¹ wird 95% der Leistung in einer 30 µm dicken Schicht absorbiert. Die restliche Dicke der Glaswand wird nur durch Wärmeleitung geheizt. Wegen diesem Temperaturunterschied zwischen der beleuchteten Außenseite und der kalten Innenseite wird eine mechanische Spannung induziert. Überschreitet die Spannung einen kritischen Wert, so erfolgt der Bruch.

Darüberhinaus eignet sich der CO₂-Laser, wie auch jeder andere Laser, der vom Material genügend stark absorbiert wird, zum abschließenden Verschmelzen und Verrunden des scharfkantig gebrochenen Randes.

Aufgrund der unterschiedlichen Absorptionsbanden der einzelnen Materialien wird gemäß Anspruch 7 vorzugsweise ein in der Wellenlänge abstimmbarer Laser eingesetzt. So kann für jedes Material die Wellenlänge eingestellt werden, bei der dieses die stärkste Absorption zeigt, so daß die Energieverluste minimiert werden.

Z. B. ist die Absorptionskante im Glas sehr stark von der Wellenlänge des Lasers abhängig, da die verwendete Strahlung an der Schulter einer Vibrationsbande der oxidischen Bindung liegt. Es gibt spezielle CO₂-Laser, die mit Hilfe eines Interferenzgitters die emittierte Wellenlänge von 9,4 bis 11,8 µm verändern können. Das Absorptionsspektrum hängt auch sehr empfindlich von der chemischen Zusammensetzung des Glases ab. Eine höhere oder niedrigere Absorptionskante wird abhängig von den chemischen und mechanischen Eigenschaften der Glasmischung zu unterschiedlichen Ergebnissen

beim Absprengen führen. Deshalb sollte die Wellenlänge auf die Glassorte optimiert werden.

In Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nach Anspruch 8 der momentane Spannungszustand des zu schneidenden Materials während des Schneidevorgangs polarisationsoptisch überwacht.

Isotropes Material, wie z. B. Glas, wirkt unter mechanischer Belastung optisch anisotrop, das heißt doppelbrechend. Mit Hilfe einer Spannungsoptik kann der augenblickliche Spannungszustand eines Werkstücks beobachtet werden. Dies kann hier angewendet werden, um die zeitliche Entwicklung der Spannungsverteilung bei Bestrahlung mit dem Laser zu kontrollieren.

Das Glas befindet sich dabei zwischen zwei gekreuzten Polarisationsfiltern, deren Achsen unter 45° zur Horizontalen stehen. So sind Spannungen in horizontaler und vertikaler Richtung sichtbar. Als Hintergrund dient eine gleichmäßig beleuchtete, weiße Fläche. Beobachtet wird mit freiem Auge im Durchlicht oder automatisch mit Photosensoren.

Sobald der Laserstrahl das Glas heizt und Spannung induziert, wird ein heller Ring sichtbar. Danach erfolgt der Bruch und das Glas ist augenblicklich frei von Spannung.

Die Helligkeit des Ringes ist ein Maß für die Stärke der Spannungen. Dies läßt sich z. B. in der Fertigung anwenden und erlaubt die permanente Kontrolle der Justage (Anspruch 9).

Anspruch 10 gibt eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens an, bei der die räumliche Intensitätsverteilung senkrecht zur Schnittlinie auf der Oberfläche des Körpers gezielt beeinflusst wird. Mit einem speziellen derartig geformten Brennfleck kann die Verteilung von Druck- und Zugspannung an der Oberfläche bewußt verändert werden.

Eine vorgeschlagene Anordnung ist eine vertikale Intensitätsverteilung mit zwei Maxima und einem Minimum dazwischen. In der weniger geheizten Mitte ist die Temperatur geringer, und damit entsteht dort eine Zugspannung. Dies kann durch eine horizontal angeordnete Schlitzblende realisiert werden. Weil der Laserstrahl monochromatisch und die Wellenlänge beim CO₂-Laser mit 10,6 µm ungewöhnlich groß ist, treten markante Beugungen an den Kanten der Blende auf. Bei geschickter Wahl der Spaltbreite im Verhältnis zum Abstand ergibt sich eine Intensitätsverteilung mit zwei parallelen hellen Linien und einem dunklen Zentrum.

Für eine genaue Analyse der Intensitätsverteilung ist eine umfangreiche Berechnung nach der Fresnel'schen Beugungstheorie nötig.

Dieser doppelte Linienfokus kann auch durch eine teilweise Abschattung des Laserstrahles oder durch eine Überlagerung von zwei Teilstrahlen erfolgen.

Anspruch 11 gibt eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung für rotationssymmetrische Hohlkörper oder Stäbe an.

Die Vorrichtung besteht zumindest aus einem Laser, einer drehbaren Halterung für den Hohlkörper, einer Zylinderlinse oder einem asphärischen Spiegel zur Fokussierung sowie einer Schlitzblende mit einstellbarer Schlitzbreite. Auch eine Kombination von Linsen und/oder Spiegeln ist denkbar.

Gemäß Anspruch 12 sind Zylinderlinse bzw. asphärischer Spiegel und Blende auf mehrachsigen Justiereinrichtungen befestigt, wobei vorzugsweise eine Justierung um drei senkrecht zueinander stehende Achsen möglich ist. Eine Achse sollte dabei parallel zur Strahl-

achse liegen. Damit ist die exakte Zentrierung und Abstandseinstellung zwischen Linse bzw. Spiegel, Blende und Oberfläche des Hohlkörpers oder des Stabes möglich.

Die drehbare Halterung wird nach Anspruch 13 durch einen Elektromotor mit stufenlosem Getriebe angetrieben, so daß eine stufenlose Einstellung der Drehzahl möglich ist. Über die Drehzahl läßt sich, wie weiter oben beschrieben, die Verweildauer des Laserstrahles auf einer Stelle des sich drehenden Objektes beeinflussen.

Eine besondere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird durch Anspruch 14 angegeben. Der Hohlkörper befindet sich hier zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren, deren Transmission mit einem optischen Sensor überwacht wird. Die Achsen dieser Polarisatoren stehen vorzugsweise unter 45° zur Horizontalen, so daß die horizontalen und vertikalen Spannungen an der Oberfläche des Körpers beobachtet werden können. Ein Photosensor dient zur Erfassung der transmittierten Lichtstärke, die ein Maß für die Spannungen im zu schneidenden Körper sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtung zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung soll nun anhand eines Ausführungsbeispiels und der Zeichnungen erläutert werden.

Dabei zeigen:

Fig. 1 schematisch ein Beispiel für eine Vorrichtung zum Schneiden eines Trinkglases,

Fig. 2 einen Teil der Vorrichtung aus Fig. 1, in perspektivischer Darstellung, und

Fig. 3 einen Teil einer Vorrichtung zur Erzeugung einer räumlichen Intensitätsverteilung senkrecht zur Schnittlinie auf der Oberfläche des Körpers.

Im Beispiel wird der Preßbrand eines Trinkglases mittels Laserstrahlung abgeschnitten. Der Aufbau zum Schneiden von Gläsern besteht, wie in Fig. 1 dargestellt, im wesentlichen aus dem CO₂-Laser 1 als Energiequelle, einer oder mehreren Linsen 3 zur Fokussierung des Laserstrahles 2, einer Blende 4, einer mehrachsigen Justiereinrichtung für Linse und Blende, einer drehbaren Halterung des Glases und dem zu bearbeitenden Glas 6.

Die Linsenhalterung ist in drei Achsen mit Mikrometerschrauben justierbar. Eine Achse verändert den Abstand zum Glas, die beiden anderen positionieren die Linse zentrisch zum festen Strahl. Auch das Glas wird hier relativ zum Strahl justiert. Im endgültigen Ausbau bei der Fertigung sollte der Laserstrahl mittels Spiegeln relativ zum vorgegebenen Glas justierbar sein.

Die Glashalterung ist ein pneumatisch betätigtes Bakkenfutter, das den Fuß des Glases greift. Mit einem Elektromotor wird das Glas um seine Achse gedreht, damit es vom Strahl von allen Seiten beleuchtet werden kann. Mit einem stufenlos veränderbaren Getriebe läßt sich die Drehzahl des Glases einstellen. Das Glas wird über Kopf hängend gehalten. Sobald der Bruch erfolgt ist, fällt die abgeschnittene Kappe auf ein Polster oder in einen Auffangtrichter zum Wiederverwenden.

Weil der Laserstrahl nach dem Absprengen der Kappe kein Ziel mehr hat, muß er von einem Strahlfänger aus Schamottestein absorbiert werden. Auch unkontrollierte Reflexionen an Metall- oder Glasoberflächen werden durch ein Gehäuse aus Plexiglasplatten abgeschirmt.

Das infrarote Licht des CO₂-Lasers wird speziell von Glas sehr gut absorbiert und eignet sich deshalb zum gezielten Heizen der Glasoberfläche. Wenn die eingebrachte thermische Spannung die Bruchfestigkeit über-

schreitet, springt das Glas ab. Das Ziel ist eine so gleichmäßige und rißfreie Bruchkante, daß das sonst übliche Schleifen eingespart werden kann.

Es hat sich gezeigt, daß das Anritzen mit einer Kante nicht mehr notwendig ist, weil die Definition des Spannungsrings, an dem der Bruch erfolgt, ausreichend präzise ist.

Darüberhinaus eignet sich der Laser zum anschließenden Verschmelzen und Verrunden des scharfkantig gebrochenen Randes.

Fig. 2 zeigt die Optik in perspektivischer Darstellung. Die Zylinderlinse 3 und die Blende 4 bilden den runden Laserstrahl 2 in einen linienförmigen Brennfleck 7 auf der Oberfläche 8 des Glases ab.

Die Zylinderlinse anstatt einer normalen sphärischen Linse wurde gewählt, um einen linienförmigen Fokus zu erzeugen. Damit ist es möglich, eine ausreichend hohe Heizleistung einzukoppeln, ohne eine kritische lokale Leistungsdichte zu überschreiten.

Zusätzlich kann durch Änderung der Spaltbreite der Blende 4 die Länge des Linienfokus 7 auf der Oberfläche 8 des Glases den jeweiligen Bedingungen angepaßt werden.

Zum Schneiden eines Glases aus Bleiglas mit einer Wandstärke von 1 mm wurde z. B. eine 76 mm Linse gewählt. Die Leistung des CO₂-Lasers betrug 500 Watt. Bei einer Dimensionierung des Fokus von 5 × 1 mm und einer Drehzahl des Glases von 2/sec. ist der Schneidevorgang nach etwa 3 sec beendet.

Da die Hohlgläser in der Praxis öfter schief auf dem Stiel aufgesetzt sind, schwanken sie bei der Drehung. Dadurch ändert sich der Abstand der Glasoberfläche von der Linse um bis zu ±2 mm, was eine erhebliche Änderung der Fokussierung bedeutet. Wenn diese Methode dafür tolerant sein soll, muß eine Zylinderlinse mit größerer Brennweite, z. B. 200 mm, eingesetzt werden. Dies würde auch eine größere Designfreiheit durch den größeren Arbeitsabstand bedeuten.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel für die räumliche Modulation der Intensität auf der Oberfläche 8 des Glases senkrecht zur Schnittlinie. Hier wird zusätzlich eine Schlitzblende 9 wie abgebildet als beugendes Objekt in den Strahlengang gebracht, die ein Beugungsmuster auf der Oberfläche 8 des Glases erzeugt. In der Abbildung ist die Intensitätsverteilung 10, die hier zwei ausgeprägte Maxima und ein Minimum im Zentrum aufweist, zu erkennen.

Das beschriebene Verfahren zum Schneiden eines spröden Körpers mit Laserstrahlung läßt sich für alle spröden Materialien verwenden, die sich durch thermische Spannung brechen lassen (z. B. Keramik, Steine, Kristalle). Die Strahlungsquelle muß dabei in der Wellenlänge den Absorptionseigenschaften der Materialien angepaßt werden.

Beim Schneiden von z. B. Flachglas muß der Laserstrahl mit einem schnellbewegten Ablenkspiegel auf die Fläche projiziert werden.

Über die im Beispiel beschriebenen Trink- und Gebrauchsgläser hinaus können auch Rohre für die chemische Industrie oder Leuchtstofflampen oder Kolben für Glühlampen abgeschnitten werden.

Das Glas muß nicht wie hier beschrieben hohl sein, sondern kann z. B. auch ein massiver Stab sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schneiden eines spröden Körpers,

— bei dem der Körper entlang der gewünsch-

ten Schnittlinie mit einem Laserstrahl so erwärmt wird, daß sich eine thermomechanische Spannung aufbaut, die zum Bruch des Körpers entlang dieser Schnittlinie führt,

— bei dem der Laserstrahl so geformt ist, daß sein Strahlquerschnitt auf der Oberfläche des Körpers eine längliche Form aufweist, und
— bei dem das Verhältnis von Länge und Breite des Strahlquerschnitts auf der Oberfläche des Körpers einstellbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schneiden von rotationssymmetrischen Hohlkörpern oder Stäben die Bewegung des Laserstrahls entlang einer kreisförmigen Schnittlinie durch Drehen des Hohlkörpers oder Stabes um seine Symmetrieachse relativ zum ortsfesten Laserstrahl erreicht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das längliche Strahlprofil mit einer oder mehreren Zylinderlinsen und/oder asphärischen Spiegeln erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Länge des Strahlprofils auf der Oberfläche des Körpers durch eine Schlitzblende mit einstellbarer Blendenöffnung im Strahlengang des Lasers erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität des Laserstrahls auf der Oberfläche des Körpers durch Veränderung des Abstandes zwischen einem Fokussierelement und dem Körper eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein CO₂-Laser eingesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser ein in der Wellenlänge abstimmbarer Laser ist, dessen Wellenlänge auf ein Maximum der Absorption des zu schneidenden Materials eingestellt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der jeweilige Spannungszustand an der Schnittlinie polarisationsoptisch sichtbar gemacht wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Information über den jeweiligen Spannungszustand an der Schnittlinie zur Kontrolle der gegenseitigen Justage von Laserstrahl und sprödem Körper benutzt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Intensitätsverteilung senkrecht zur Schnittlinie auf der Oberfläche des Körpers gezielt beeinflußt wird.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 10, zumindest bestehend aus
 - einem Laser,
 - einer drehbaren Halterung für den Hohlkörper oder Stab,
 - einer Zylinderlinse oder einem asphärischen Spiegel, und
 - einer Schlitzblende mit einstellbarer Schlitzbreite.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderlinse oder der asphärische Spiegel und die Blende an mehrachsigen Justiereinrichtungen befestigt sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch

gekennzeichnet, daß die drehbare Halterung durch einen Elektromotor mit stufenlosem Getriebe angetrieben wird.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Hohlkörper oder der Stab zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren befindet, deren Transmission mit einem optischen Sensor überwacht wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

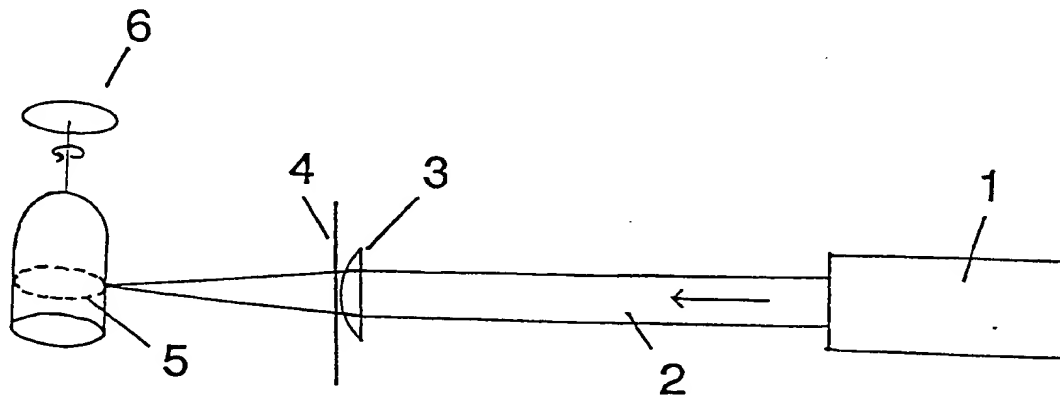


FIG. 1

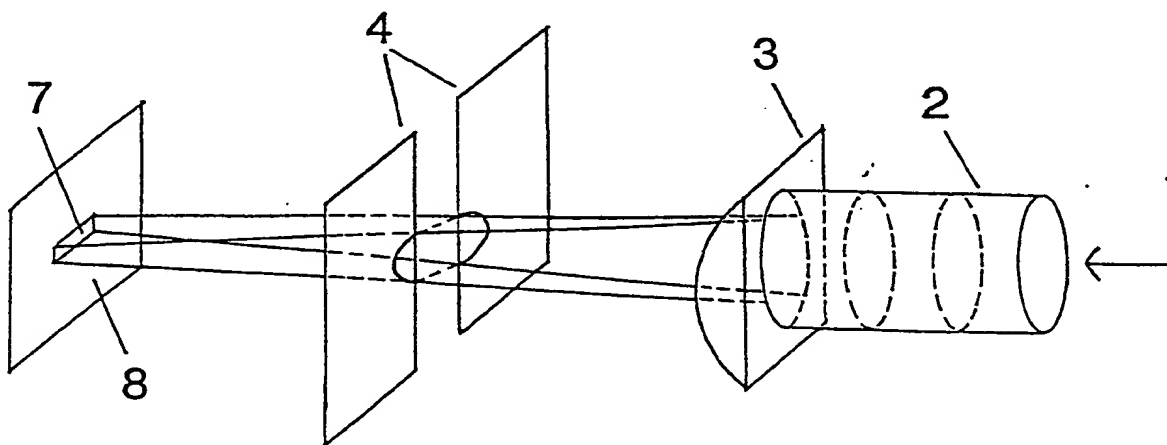


FIG. 2

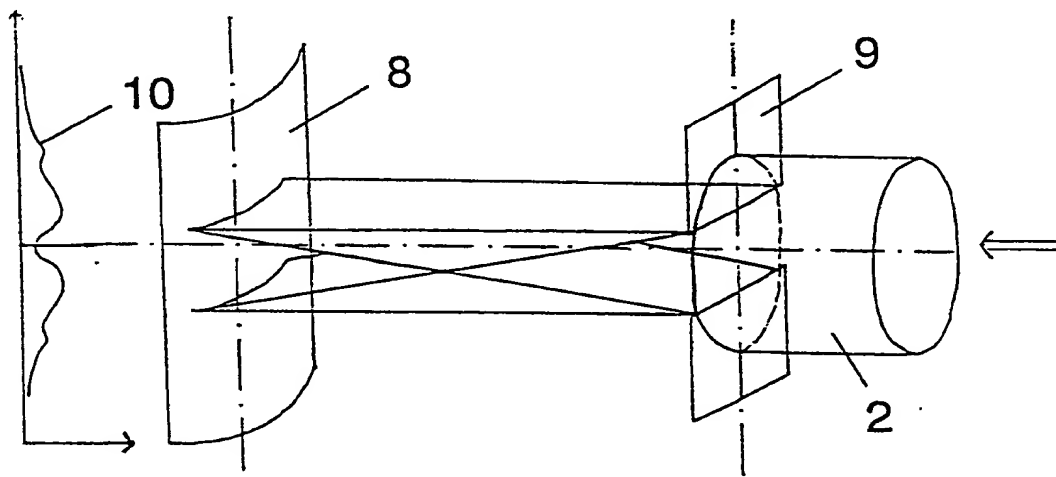


FIG. 3